

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 07 505.7

**Anmeldetag:** 15. Februar 2001

**Anmelder/Inhaber:** CeramTec AG, Innovative Ceramic Engineering,  
Plochingen/DE

**Bezeichnung:** Aktor mit versetzt angebrachter Außenelektrode

**IPC:** H 02 N 2/04

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 20. Februar 2002  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Schäfer", is placed over the typed name "Der Präsident".

Waasmaier

- 1 -

### Aktor mit versetzt angebrachter Außenelektrode

#### Stand der Technik:

Aktoren aus Piezokeramiken werden nach dem Stand der Technik mit alternierenden Elektroden aufgebaut (Interdigitalstruktur, Bild 1).

- 5    Bei solchen herkömmlichen Aktoren ist bekannt, dass der inaktive Bereich der zur Kontaktierung benötigt wird, Dehnungsinhomogenitäten aufweist. Diese führen in der Regel in regelmäßigen Abständen zu Rissen in diesem piezoelektrisch inaktiven Elektrodenbereich. Der Fehler ist solcherart, dass sich in den passiv gedehnten Bereichen die Spannungen zu einem bestimmten Maße aufsummieren, bis sie sich durch Rissbildung entlasten. (Bild 1). Die Risse haben im allgemeinen Abstände von mehr als einem Millimeter bei Dehnungen von ca. 10     $1 - 2 \mu\text{m}/\text{mm}$ . Diese Risse enden im sogenannten aktiven Bereich des Aktors der die Dehnung erzeugt, da hier nur Druckspannungen auftreten. Diese Risse können für einige Anwendungen toleriert werden. Es ergeben sich jedoch grund-  
15    sätzliche Probleme:
  1. Ist der Aktor nicht vollständig gekapselt, so ergeben sich an den durch die Risse freiliegenden Elektrodenenden (Bild 1) elektrische Felder, die zur Anlagerung von Wasser oder polaren Molekülen führen können. Diese wiederum führen zu Leckströmen oder zu einer verstärkten Degradation des Aktorverhaltens.
  - 20    Es ist außerdem nicht vollständig auszuschließen, dass die Aktoren, durch die Risse vorgeschädigt, aufgrund von Ausbrüchen im Betrieb versagen.
  2. Die Außenelektroden werden im Bereich der Risse besonders beansprucht, ein Versagen der Außenelektrode kann zu einem kompletten Versagen des Bauteils führen.

Ziel des erfindungsgemäßen Aktordesigns ist es daher, ein Aktor- und damit verbunden ein Außenelektrodendesign vorzuschlagen, das eine Rissbildung vollständig vermeidet, da Dehnungsüberhöhungen vermieden werden, da die Spannungen homogen im Aktor abgebaut werden.

5 **Erfindungsgemäße Neuheit:**

Der Aktor wird wie üblich so aufgebaut, dass die Elektroden allseitig interdigital nach außen geführt werden, nur an den zu kontaktierenden Flächen nicht. Hierdurch entstehen, wie bei Aktoren die nach dem Stand der Technik gefertigt werden, inaktive Bereiche, die passiv gedehnt werden. Die zu kontaktierenden Flächen und damit die inaktiven Bereiche werden nach der erfindungsgemäßen Neuheit in regelmäßigen Abständen so um einen gewissen Betrag gegeneinander versetzt, dass sich die Spannungsüberhöhungen nicht derart summieren können dass sie zu Rissen führen. Bei Aktoren mit einer typischen Lagendicke von 100 µm ist eine solche Versetzung alle 0,5 bis 3 mm, insbesondere ca. 1 - 10 1,5 mm notwendig. Die Außenelektrode wird dann für jede Fläche aufgebracht und die gleichsinnig angesteuerten Bereiche miteinander verbunden. Insbesondere sind hier runde Aktoren von Vorteil, bei denen jede inaktive Zone um einen gewissen Winkel gegen die vorhergehende verdreht werden kann, so dass eine Helixstruktur entsteht.

20 **Ausführungsbeispiel für einen runden Aktor des Durchmessers R:**

Die Innenelektroden werden nach Bild 2 auf eine Folie aus piezoelektrischem Material aufgedruckt. Die Elektrodenschicht weist Aussparungen auf, um eine wechselseitige Kontaktierung zu ermöglichen. Im vorliegenden Beispiel ergeben sich so aus einer Folie Einzellagen für 6 Aktoren. Die Elektrodenlagen mit verschiedener Polarität wechseln sich alternierend ab. Jeder Elektrodendruck von aufeinanderfolgenden Folien gleicher Polarität ist um einen Winkel  $\alpha$  vom vor-



- 3 -

hergehenden in Umfangsrichtung verdreht (Bild 2 von oben nach unten), so dass nach einer vorgegebenen Höhe  $h$  sich die inaktiven Bereiche der Breite  $L$  (Bild 2 oben rechts) nicht mehr überlappen. Der Winkel  $\alpha$  berechnet sich folgendermassen:  $\alpha = \left( \frac{h}{d} \cdot \arcsin\left(\frac{L}{R}\right) \right)$ , wobei  $d$  die Lagendicke der piezokeramischen

- 5 Schicht plus die Elektrodendicke und  $R$  den Aktorradius bedeutet. Die Folien werden anschließend aufeinander gestapelt und laminiert, wobei ein Folienstapel (Block) mehreren Aktoren entsprechen kann. Diese Aktoren werden im Beispiel dann mittels einer Trennvorrichtung in 6 einzelne, rechteckige Quader zerteilt. Jeder so erhaltene Quader entspricht dann einem Aktor. Dieser Quader wird
- 10 mittels Drehen im Grünzustand auf den gewünschten Durchmesser gebracht, so dass neben den zu kontaktierenden Flächen inaktive Bereiche zur Isolierung an der Oberfläche entstehen. Der Aktor wird einem Sintervorgang unterzogen, wobei durch die homogene Sinterschwindung das gewünschte Endmass erreicht wird. Im gesinterten Zustand werden mittels Schleifmaschine die Enden Plan-
- 15 parallel geschliffen und ansonsten nur die zu kontaktierenden Bereiche angeschliffen. Diese werden mit einer Grundmetallisierung versehen und anschließend eine geeignete Elektrode (z.B. Siebelektrode aus einem geeigneten Material wie z. B Invar) helixförmig aufgelötet (Bild 3).

- 20 In einer besonderen Ausführung kann die Elektrodenschicht auch nur aus einer leitenden Schicht ohne zusätzliche Außenelektrode bestehen.

Eine weitere Ausführung besteht darin, den Aktor rechteckig aufzubauen, und den zur Kontaktierung verwendeten Bereich schräg über eine Seitenfläche verlaufen zu lassen oder mehrere Seiten zur Kontaktierung mit einer Polarität zu nutzen.

### Patentansprüche

1. Aktor aus einem piezoelektrisch aktiven Material, bei dem außer an den kontaktierten Bereichen die Elektroden allseitig nach außen geführt werden, derart gestaltet, dass die kontaktierten Bereiche in Umfangsrichtung um einen Winkel  $\alpha$  versetzt sind, so dass keine Spannungsüberhöhungen in vertikaler Richtung auftreten.  
5
2. Aktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er rotationssymmetrisch aufgebaut ist.
3. Runder Aktor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Außenkontakteierungen  
10 helixförmig gestaltet sind,
4. Runder Aktor nach Anspruch 1 und 2, bei dem die Außenkontakteierungen gegenüberliegend helixförmig gestaltet sind, wobei die Steigung der Helix so gewählt ist, dass die Versetzung nach einer kritischen Distanz (im allgemeinen 1 mm Lagen der piezoelektrisch aktiven Schichten) mindestens  
15 der Kontaktierungsbreite entspricht.
5. Aktor nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei dem die Aktoroberfläche „as sintered“ belassen wird, und nur die zu kontaktierenden Bereiche angeschliffen werden.  
20
6. Aktor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4 oder 5 mit inaktivem Kopf und Fuß, bei dem der Übergang vom aktiven zum inaktiven Bereich gleichförmig gestaltet wird, indem die Betriebsfeldstärke kontinuierlich gesenkt wird.
7. Aktor nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5 und 6, bei dem diese Senkung der Betriebsfeldstärke durch graduelles Vergrößern der Elektrodenabstände erreicht wird.

- 5 -

8. Aktor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7, derart gekennzeichnet, dass in der Mitte des Aktors ein Loch vorhanden ist, womit dieser Aktor mit einer Schraube fixiert werden kann.
9. Aktor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 oder 8 bei dem ein Teil oder alle notwendigen Formgebungsschritte im Grünzustand durchgeführt werden.
10. Aktor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 oder 8 bei dem ein Teil oder alle Formgebungsschritte im gesinterten Zustand durchgeführt werden.
11. Aktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche der aus einem größeren laminiertem Block gefertigt wird.
- 10 12. Aktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der zur Regelung eines Einspritzventils dient.

Dehnung

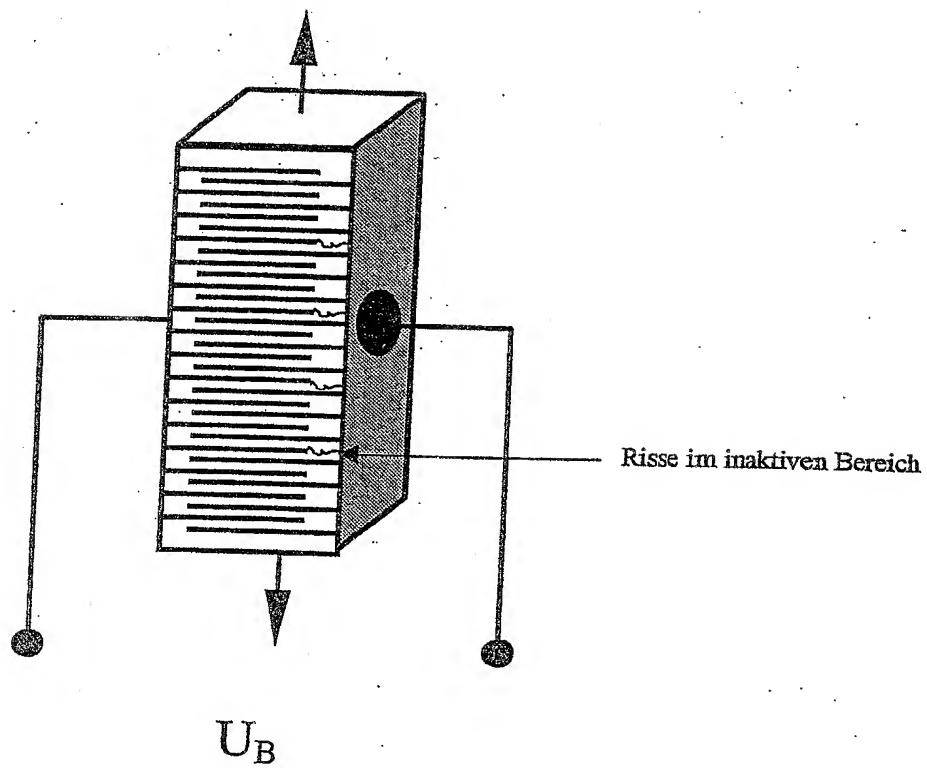
 $U_B$ 

Bild 1 Aktor im Betrieb mit Rissen

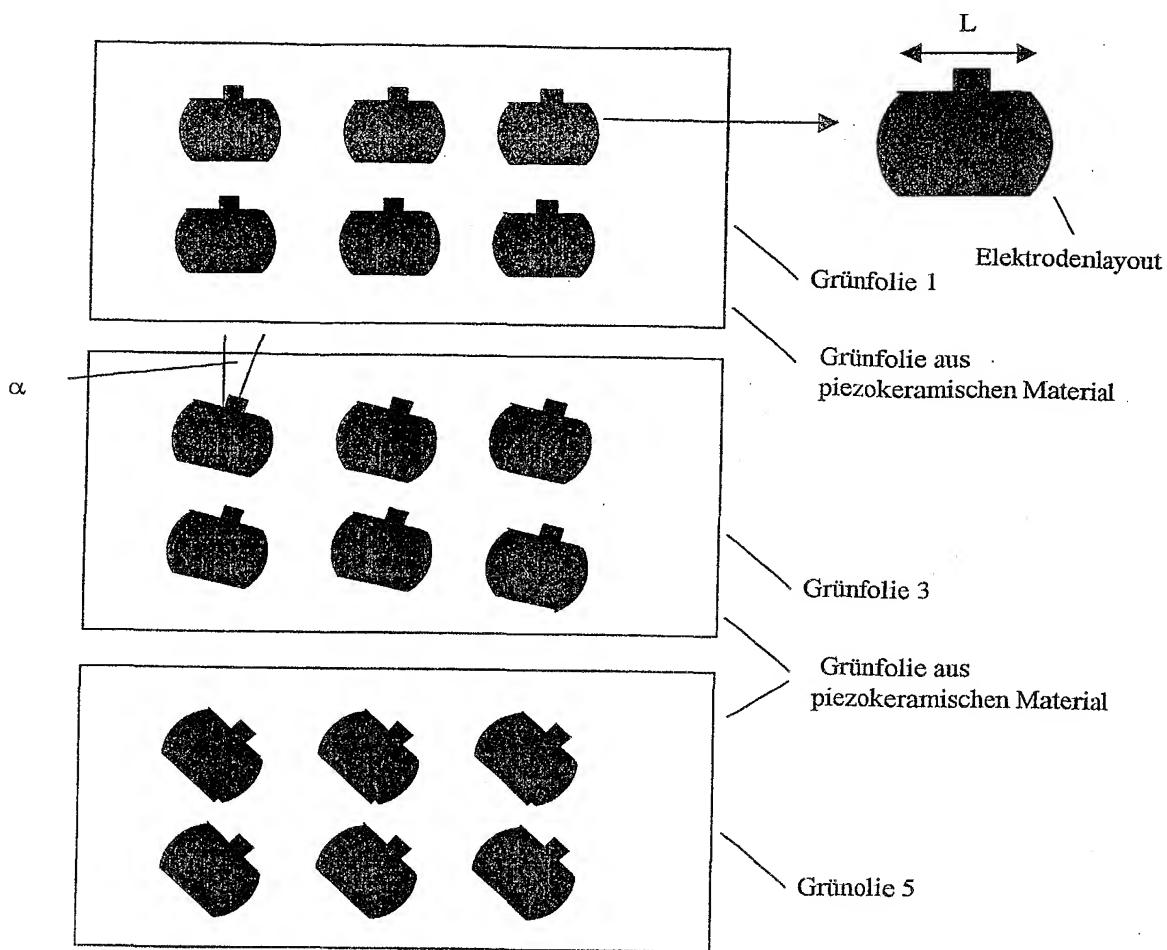


Bild 2 Elektrodenlayout für drei aufeinanderfolgende Elektrodenlagen einer Polarität. Elektroden entgegengesetzter Polarität (auf Grünfolie 2, 4...) jeweils um  $180^\circ$  gedreht und alternierend eingelegt

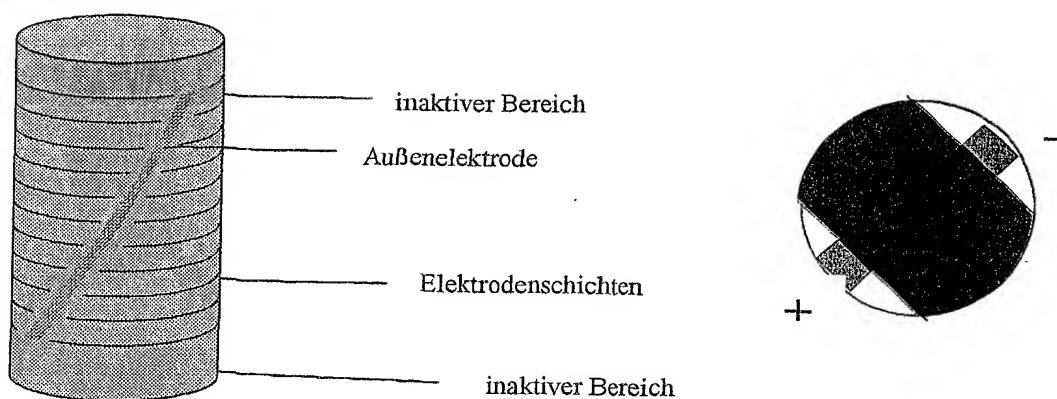


Bild 3: runder Aktor mit helixförmiger Außenelektrode, rechts zwei übereinanderliegende Elektroden mit angedeuteter elektrischer Polarität